

Monitoring device for radial and axial clearance between blades and housing of turbo engine

Patent number: DE19705769
Publication date: 1998-08-20
Inventor: SCHUBERT RICHARD DR (DE)
Applicant: SIEMENS AG (DE)
Classification:
- **international:** G01N22/00; G01N17/00
- **european:** G01B11/14; G01B15/00; G01N22/00
Application number: DE19971005769 19970214
Priority number(s): DE19971005769 19970214

Report a data error here

Abstract of DE19705769

The device has a microwave radar system with at least one transmitter-receiver unit (SE) for generating, emitting and receiving microwaves, at least one hollow conductor arrangement (HL) between the transmitter-receiver unit and the blades and an evaluation unit for the evaluation of signals from the transmitter-receiver unit. The hollow conductor arrangement has at least one section along its edge remote from the transmitter-receiver unit along a line in a plane contg. the blade wheel rotation axis at a small distance from the enclosing surface of the vol. swept by the blade wheel as it rotates. The evaluation unit derives the radial and axial gap between the blade wheel and housing from the signals received from the transmitter-receiver unit or signals blade damage if present.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 05 769 A 1**

⑤ Int. Cl.⁶:
G 01 N 22/00
G 01 N 17/00

⑳ Aktenzeichen: 197 05 769.1
㉔ Anmeldetag: 14. 2. 97
㉕ Offenlegungstag: 20. 8. 98

DE 197 05 769 A 1

⑦① Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦② Erfinder:
Schubert, Richard, Dr., 81739 München, DE

⑤⑥ **Entgegenhaltungen:**

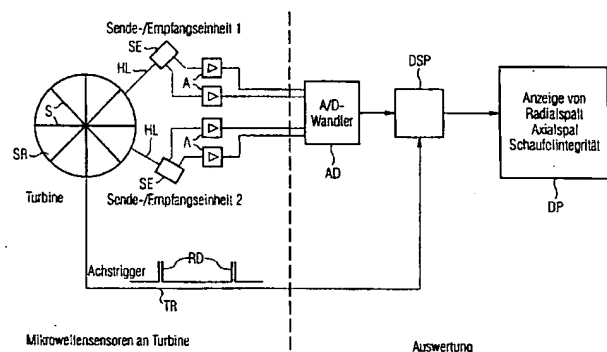
DE	36 37 549
GB	20 65 410 A
GB	20 63 001 A
GB	20 55 269 A
US	49 55 269
US	48 45 422

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Vorrichtung zur Überwachung von Radial- und Axialspalt an Turbomaschinen**

⑤⑦ Bei der vorliegenden Erfindung wird ein Mikrowellen-Radarsystem verwendet, um die Position einer bestimmten Schaufel sehr genau zu bestimmen. Das Radarsystem umfaßt eine Sende- und Empfangseinheit, von der Mikrowellen durch einen Hohlleiter auf das Schaufelrad gerichtet werden. Die Mündung des Hohlleiters ist sehr dicht über den Schaufelspitzen angeordnet, so daß aus dem Reflex eines Mikrowellensignals sehr genau bestimmt werden kann, in welchem Abstand sich eine Schaufelspitze von dem Hohlleiterende und damit von der Gehäusewand befindet. Um einzelne Schaufeln während der Drehung des Rades identifizieren zu können, ist eine Vorrichtung vorhanden, die ganze Umdrehungen des Schaufelrades erfaßt. In einer Auswerteeinheit kann dann ggf. die Zeit für eine Umdrehung durch die Anzahl der Schaufeln dividiert werden, um so eine Einheit für das Abzählen einzelner Schaufeln zu gewinnen. Damit ist es auch möglich, die Unversehrtheit der Schaufeln zu kontrollieren.



DE 197 05 769 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Überwachung von Radial- und Axialspalt zwischen einem Schaufelrad, z. B. einer Turbine, und dem umgebenden Gehäuse während des Betriebes.

Um den sicheren Betrieb von Turbomaschinen zu gewährleisten, besteht ein großes Interesse, während des Betriebes, d. h. während der Drehung des Schaufelrades, die Schaufeln kontinuierlich zu überwachen. Dabei ist die exakte Einhaltung des Abstandes der Schaufelspitzen, d. h. der äußersten Ränder der Schaufeln, vom Gehäuse (Radialspalt) sehr wichtig. Zum einen darf aus Sicherheitsgründen ein minimaler Radialspalt nicht unterschritten werden. Auf der anderen Seite führt ein zu großer Radialspalt zu einem unnötig geringen Wirkungsgrad. Neben dem Radialspalt ist besonders bei Schaufelrädern, bei denen die Schaufelreihen mit einem Deckband verkleidet sind, der axiale Abstand zu Gehäuseteilen wichtig. Da sich diese Größen durch verschiedenen dynamische Einflußfaktoren ändern, ist eine kontinuierliche Überwachung des Radialspaltes und des Axialspaltes während des Betriebes anzustreben. Die Größe des Radialspaltes kann z. B. mittels Nadelsonden überwacht werden, die bis auf Berührung an die Schaufelspitzen herangefahren werden. Es werden auch induktive Sonden und Sonden, die auf dem Wirbelstromprinzip beruhen, verwendet. Keines der Verfahren hat sich aber für den Dauereinsatz durchsetzen können. Eine weitere Einschränkung für optische Sensoren ergibt sich aus der begrenzten thermischen Belastbarkeit.

Bei der in der US 5,479,826 beschriebenen Anordnung ist ein Hohlleiter zur Führung von Mikrowellen radial auf das Schaufelrad gerichtet. Es wird die momentane Position eines Schaufelrades vor der Mündung dieses Hohlleiters dadurch festgestellt, daß die Reflexion der Mikrowellen an der äußeren Kante der Schaufel zur Ausbildung von stehenden Wellen in dem Hohlleiter führt. Die sich daher bei einer Drehung des Schaufelrades periodisch ändernde Impedanz kann in der Sende- und Empfangseinheit als relativ kurze, periodisch auftretende Spannungsänderung erfaßt werden. Die Geschwindigkeit der Schaufelräder kann so über einen Umlauf gemittelt erfaßt werden, und aus dem Intervall zwischen den Zeitpunkten, an denen zwei aufeinanderfolgende Schaufeln die Mündung des Hohlleiters passieren, kann zumindest näherungsweise auf eine vorhandene Schaufelschwingung rückgeschlossen werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine verbesserte Vorrichtung zur Kontrolle von Radial- und Axialspalt bei Schaufelrädern während des Betriebes anzugeben.

Diese Aufgabe wird mit der Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Bei der vorliegenden Erfindung wird ein Mikrowellen-Radarsystem verwendet, um die Position einer bestimmten Schaufel relativ zum Gehäuse sehr genau zu bestimmen. Das Radarsystem umfaßt eine Sende- und Empfangseinheit, von der Mikrowellen durch einen Hohlleiter in im wesentlichen radialer oder axialer Richtung auf das Schaufelrad gerichtet werden. Die Mündung des Hohlleiters ist sehr dicht über den Schaufelkanten angeordnet, so daß sehr genau erfaßt werden kann, ob sich eine Schaufelkante direkt gegenüber dem Hohlleiter befindet. In diesem Fall werden die Mikrowellen reflektiert, und aus dem Reflexionssignal kann der Abstand der Schaufeln vom Hohlleiter und damit von der Gehäusewand bestimmt werden. Durch Anbringen mehrerer solcher Hohlleiter auf dem Umfang des von dem Schaufelrad überstrichenen Volumens kann der Radialspalt oder Axialspalt an verschiedenen Stellen des Gehäuses be-

stimmt werden. Um einzelne Schaufeln während der Drehung des Rades identifizieren zu können, kann zusätzlich eine Vorrichtung vorhanden sein, die ganze Umdrehungen des Schaufelrades erfaßt. In einer Auswerteeinheit kann dann ggf. die Zeit für eine Umdrehung durch die Anzahl der Schaufeln dividiert werden, um so eine Einheit für das Abzählen einzelner Schaufeln zu gewinnen. Diese Anordnung kann auch vorteilhaft verwendet werden, um die Unversehrtheit der Schaufeln zu kontrollieren.

Es folgt eine genauere Beschreibung der erfindungsgemäßen Vorrichtung anhand der Fig. 1 bis 7.

Fig. 1 zeigt eine Anordnung der Vorrichtung im Schema.

Fig. 2 bis 4 und 7 zeigen verschiedene Ausgestaltungen einer in der Vorrichtung eingesetzten Hohlleiteranordnung.

Fig. 5 und 6 zeigen im Schema verschiedene Hohlleiterquerschnitte und deren Anordnung zu den Schaufeln.

In dem Schema der Fig. 1 sind zwei Sende- und Empfangseinheiten SE dargestellt. Diese Einheiten umfassen einen Generator für Mikrowellen, die über eine Hohlleiteranordnung HL in Richtung auf das zu überwachende Schaufelrad SR ausgesendet werden. Die Hohlleiteranordnungen bestehen im einfachsten Fall aus einfachen Hohlleitern, deren Mündung, d. h. das von der Sende- und Empfangseinheit abgewandte Ende, in radialer Ausrichtung auf die äußeren Kanten der Schaufeln S des Schaufelrades SR gerichtet ist. Der Hohlleiter wird in geeigneter Weise durch das Gehäuse, das das Schaufelrad umgibt, geführt und dort befestigt. Die Mündung des Hohlleiters wird vorzugsweise sehr dicht über der Hüllfläche des von dem Schaufelrad überstrichenen Volumens angeordnet. Auf diese Weise kann sehr genau bestimmt werden, wie weit die äußeren Schaufelkanten von dem Gehäuse entfernt sind. Die in Fig. 1 gezeigte Anordnung mit zwei Hohlleiteranordnungen ermöglicht es, sehr genau den Radialspalt an verschiedenen Stellen des Schaufelradumfangs zu bestimmen.

Die Hohlleiter werden zumindest mit einem Abschnitt an der über dem Schaufelrad angeordneten Mündung radial zu dem Rad ausgerichtet. Falls der Axialspalt gemessen werden soll, werden die Hohlleiter entsprechend mit einem Abschnitt an der über dem Schaufelrad angeordneten Mündung axial zu dem Schaufelrad, d. h. parallel zu dessen Drehachse, ausgerichtet.

Zum Zweck der Zuordnung der reflektierten Signale zu den einzelnen Schaufeln ist eine Vorrichtung vorhanden, die die Umdrehungen des Schaufelrades bestimmt. Über den Trigger TR, der z. B. nach einer vollen Umdrehung des Schaufelrades einen Rechteckdurchgang RD liefert, wird an die zur Auswertung vorgesehenen Auswerteeinheit die Information geliefert, welche Schaufel sich an einem bestimmten Hohlleiter vorbeibewegt. Die Sende- und Empfangseinheit ist so ausgeführt, daß sie die Phase und die Amplitude des von der äußeren Schaufelkante in die Hohlleiteranordnung HL reflektierten Signals in ihrer Gesamtheit erfaßt und in geeigneter Weise in ein NF-Signal umwandelt. Das wird am einfachsten durch die Verwendung von zwei Empfangsdioden realisiert, die die Signalkomponenten I und Q des komplexwertigen Reflexionssignals erfassen. Alternative Realisierungen hierfür sind heterodyne Empfangsstufen bzw. Systeme mit Phasenumtastung. Bei besonderen Ausführungsbeispielen ist es für bestimmte Anwendungen sinnvoll, eine Einrichtung vorzusehen, die die Amplitude des reflektierten Signals gesondert erfaßt. Die Auswertung der Signale, die von der Sende- und Empfangseinheit empfangen werden, kann auf verschiedene Weisen erfolgen. Auf der Grundlage von modellbasierten Algorithmen wird der Signalverlauf während des Turbinenbetriebes kontinuierlich ausgewertet. Der Verlauf der Phase des reflektierten Signals gibt Aufschluß über Radial- bzw. Axialspalt. Bei der

Überwachung der Integrität der Schaufeln wird die Tatsache ausgenutzt, daß auch sehr kleine Änderungen an den Schaufelspitzen, bedingt durch die besonderen Reflexionseigenschaften der Mikrowellen, zu merklichen Veränderungen im Signalverlauf führen. Eine Erhöhung der Genauigkeit kann durch Einbeziehung sowohl der ansteigenden als auch der abfallenden Flanke des Signales erreicht werden. Ein erheblich besseres Ergebnis läßt sich bei Verwendung von digitaler Signalverarbeitung erzielen. In der Anordnung der Fig. 1 werden die Signalkomponenten I und Q über Verstärker A einem A/D-Wandler AD zugeleitet, dessen Ausgangssignal zusammen mit dem Signal des Achstriggers TR einem digitalen Signalprozessor DSP zugeleitet wird. Das weiterverarbeitete Meßergebnis kann dann einer Anzeige DP von Radialspalt, Axialspalt und Schaufelintegrität zugeleitet werden. Eine digitale Auswertung kann je nach gegebenen Bedingungen auf unterschiedlichen Prinzipien beruhen. Es kann wie bei der Analogauswertung aus I und Q auf der Grundlage von modellbasierten Algorithmen der gesamte Signalverlauf beim Vorbeiflug einer Schaufel an einem Hohlleiter ausgewertet werden. Das ist besonders sinnvoll, wenn es darum geht, Mehrdeutigkeiten in der Bestimmung der Meßgrößen zu vermeiden.

In den Fig. 2 bis 4 sind verschiedene Ausführungsbeispiele für die Anordnungen aus Hohlleitern und Sende- und Empfangseinheit dargestellt. Bei der Anordnung der Fig. 2 ist ein einzelner Hohlleiter vorhanden, in den die von einem Generator G erzeugte Mikrowellenstrahlung eingekoppelt wird. Das reflektierte Signal wird wie zuvor beschrieben von zwei Empfangsdioden D1, D2 in die Komponenten I und Q entschlüsselt. Bei der Anordnung nach Fig. 3 ist ein Richtelement RE vorhanden, das z. B. ein Richtkoppler oder ein Zirkulator sein kann und das dazu dient, die Amplitude des reflektierten Signales gesondert mittels der Empfangsdiode D zu erfassen. Bei der Anordnung nach Fig. 4 sind zwei Hohlleiter in der Hohlleiteranordnung vorhanden. Die von dem Generator G erzeugte Mikrowellenstrahlung wird in den Hohlleiter HLS eingekoppelt. Diese Mikrowellen werden von der Kante einer Schaufel reflektiert in den zweiten Hohlleiter HLE, der unmittelbar neben dem ersten Hohlleiter HLS angeordnet ist. Für die Auswertung wird dieses in den zweiten Hohlleiter reflektierte Signal empfangen und weiterverarbeitet. Dafür ist wieder eine Empfangsdiode D vorgesehen.

Bei Verwendung eines Hohlleiters mit rechteckiger Öffnung wird je nach Ausführungsform die größere Seite des Rechteckes parallel oder senkrecht zur Schaufelkante SK angebracht, wie in Fig. 5 in Aufsicht auf die Mündung des Hohlleiters schematisch dargestellt ist. Vorteilhaft kann auch die Verwendung eines Rundhohlleiters RH sein. Hierdurch können aufgrund der Rotationssymmetrie Mikrowellen mit zwei unabhängigen Polarisierungen verwendet werden, wie in Fig. 6, die wieder die Aufsicht auf die Mündung des Hohlleiters entsprechend Fig. 5 zeigt, durch die eingetragenen Pfeile dargestellt ist. Durch die damit gegebene Redundanz ist eine Erhöhung von Meßgenauigkeit und Störsicherheit gewährleistet. Besonders bei der nachträglichen Anbringung dieser Vorrichtung an eine Turbomaschine kann sich die Verwendung von Rundhohlleitern als günstig erweisen, weil die erforderlichen Öffnungen in der Gehäusewand leichter rund herzustellen sind.

In Fig. 7 ist eine Anordnung dargestellt, bei der die Hohlleiteranordnung aus zwei Hohlleitern HL1, HL2 besteht, die unterschiedliche Querschnitte Q aufweisen. Es werden zwei Sende- und Empfangseinheiten mit unterschiedlichen Betriebsfrequenzen verwendet, um in diese beiden Hohlleiter HL1, HL2 Mikrowellen unterschiedlicher Frequenz einkoppeln zu können. Dadurch sind gleichzeitig eine gröbere und

eine feinere Messung der Schaufelposition möglich. Als günstig kann es sich hier erweisen, wenn die beiden Betriebsfrequenzen exakt in einem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen, was z. B. dadurch erreicht werden kann, daß derselbe Generator für beide Sende- und Empfangseinheiten verwendet wird und die obere der beiden Betriebsfrequenzen durch Vervielfachung aus der unteren Betriebsfrequenz gebildet wird.

Eine Anordnung nach Fig. 4 oder Fig. 7, bei der die Hohlleiteranordnung aus zwei direkt nebeneinander angeordneten Hohlleitern besteht, hat außerdem den Vorteil, daß die Amplitude des reflektierten Signales gesondert erfaßt werden kann.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Überwachung der Schaufeln eines Schaufelrades,

- bei der ein Mikrowellen-Radarsystem vorhanden ist mit
- mindestens einer Sende- und Empfangseinheit (SE) zur Erzeugung, zur Aussendung und zum Empfang von Mikrowellen,
- mindestens einer zugehörigen Hohlleiteranordnung (HL), die zwischen dieser Sende- und Empfangseinheit und den Schaufeln angeordnet ist, und
- einer Auswerteeinheit für die Auswertung von Signalen, die von der Sende- und Empfangseinheit an diese Auswerteeinheit übermittelt werden,
- bei der diese Hohlleiteranordnung zumindest mit einem Abschnitt an ihrem von der Sende- und Empfangseinheit abgewandten Ende längs einer Geraden, die in einer Ebene verläuft, in der die Drehachse des Schaufelrades liegt, in geringem Abstand zu der einhüllenden Fläche des von dem Schaufelrad bei seiner Drehung überstrichenen Volumens ausgerichtet ist und
- bei der die Auswerteeinheit dafür eingerichtet ist, aus den übermittelten Signalen einen Radial- oder Axialspalt zwischen dem Schaufelrad und einem umgebenden Gehäuse zu bestimmen oder eine vorhandene Beschädigung einer Schaufel zu signalisieren.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der der Abschnitt an dem von der Sende- und Empfangseinheit abgewandten Ende der Hohlleiteranordnung längs einer Geraden ausgerichtet ist, die parallel zu der Drehachse des Schaufelrades verläuft.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der die Auswerteeinheit dafür vorgesehen ist, den minimalen Abstand des von der Sende- und Empfangseinheit abgewandten Endes der Hohlleiteranordnung von dem Schaufelrad während einer Drehung zu bestimmen.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
- bei der eine weitere Sende- und Empfangseinheit (SE) zur Erzeugung, zur Aussendung und zum Empfang von Mikrowellen und
 - eine zugehörige weitere Hohlleiteranordnung (HL), die zwischen dieser Sende- und Empfangseinheit und den Schaufeln angeordnet ist, vorhanden sind und
 - bei der diese weitere Hohlleiteranordnung zumindest mit einem Abschnitt an ihrem von der weiteren Sende- und Empfangseinheit abgewandten Ende längs einer Geraden, die in einer Ebene verläuft, in der die Drehachse des Schaufelrades liegt, in geringem Abstand zu der einhüllenden

- Fläche des von dem Schaufelrad bei seiner Drehung überstrichenen Volumens ausgerichtet ist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der eine Einrichtung zur Bestimmung ganzer Umdrehungen des Schaufelrades vorhanden ist. 5
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
 – bei der eine Hohlleiteranordnung aus zwei getrennten Hohlleitern (HLS, HLE) ausgebildet ist,
 – bei der zumindest in einem Abschnitt an dem den Schaufelrad zugewandten Ende der Hohlleiteranordnung die zwei Hohlleiter so dicht nebeneinander angeordnet sind, daß von dem einen dieser Hohlleiter ausgesandte und von einer Schaufel reflektierte Mikrowellen in den anderen Hohlleiter in vorgesehener Stärke überkoppeln können, 10
 und
 – bei der die Sende- und Empfangseinheit dafür vorgesehen ist, ausgesendete Mikrowellen in den einen dieser Hohlleiter einzukoppeln und ankommende Mikrowellen aus dem anderen dieser Hohlleiter zu empfangen. 20
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
 – bei der eine Hohlleiteranordnung aus zwei getrennten Hohlleitern (HL1, HL2) ausgebildet ist,
 – bei der diese Hohlleiter unterschiedliche Querschnitte aufweisen und
 – bei der die Sende- und Empfangseinheit dafür vorgesehen ist, Mikrowellen unterschiedlicher Frequenzen in diese Hohlleiter einzukoppeln und aus diesen Hohlleitern zu empfangen. 30
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der eine Hohlleiteranordnung durch Hohlleiter mit kreisförmigem Querschnitt (Rundhohlleiter) gebildet ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei der die Auswerteeinheit dafür vorgesehen ist, auf der Grundlage von modellbasierten Algorithmen den Verlauf eines von der Sende- und Empfangseinheit übermittelten Signales kontinuierlich auszuwerten. 35
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei der die Hohlleiteranordnungen so ausgebildet sind, daß eine getrennte Erfassung der Amplitude eines empfangenen Signales möglich ist, und bei der die Auswerteeinheit dafür vorgesehen ist, die Amplitude und die Phase eines von der Sende- und Empfangseinheit übermittelten Signales getrennt zu erfassen und auszuwerten. 40
 45

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

- Leerseite -

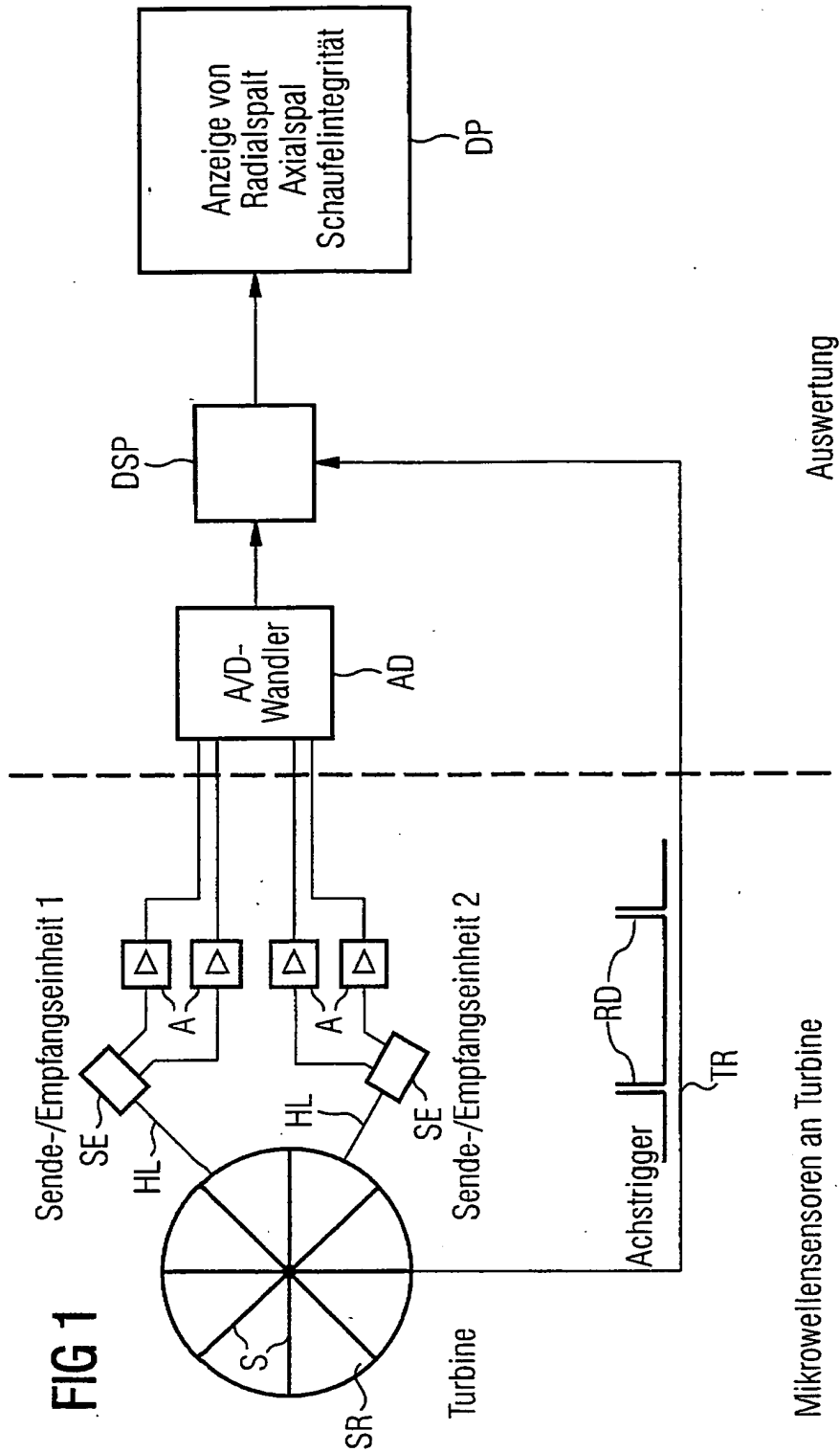


FIG 2

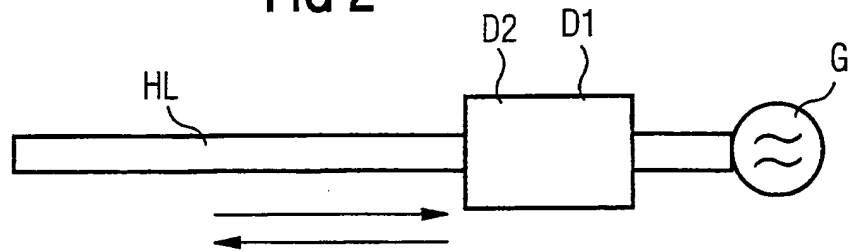


FIG 3

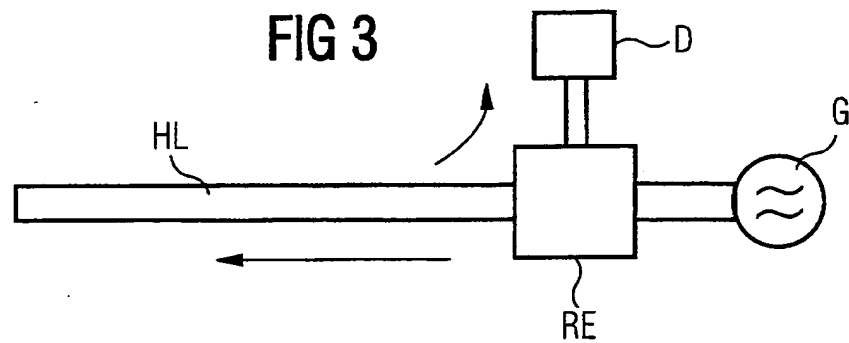
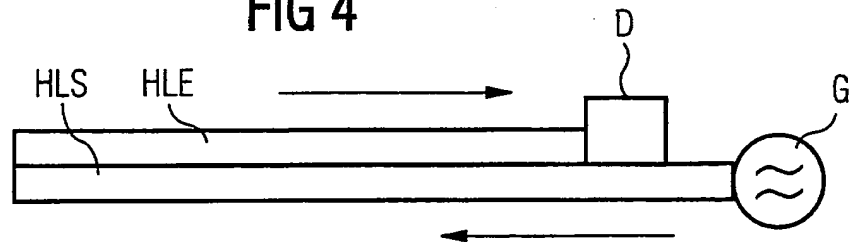


FIG 4



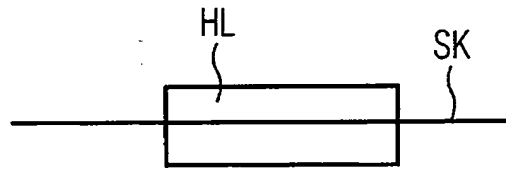


FIG 5

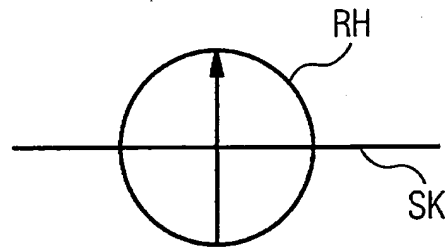
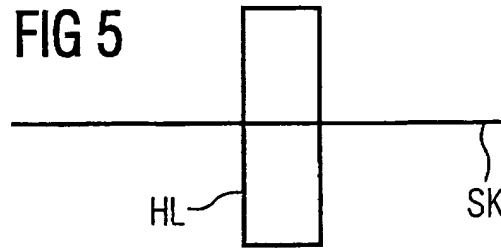


FIG 6

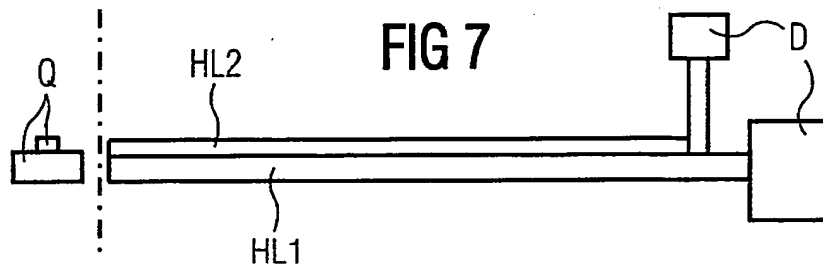
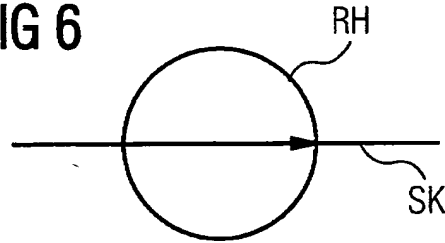


FIG 7